

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики (ОЭФ)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы Разработка программного обеспечения для управления и измерения параметров газовой физической установки

УДК 004.415.2:53.08:692.2.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Халеев Дмитрий Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Гаранин Георгий Викторович	к. т. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Запланированные результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП
P1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности
P2	Уметь работать в коллективе, быть готовым к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.
P3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.
P4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.
P5	Применять организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.
P6	Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.
P7	Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.
P8	Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Склярова Е.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0Б71	Халееву Дмитрию Евгеньевичу

Тема работы:

Разработка программного обеспечения для управления и измерения параметров газовой физической установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Рабочая документация к управляемому газовому реактору: газовая схема, схема измерения давлений и температур, техническое описание комплектующих и их информационных протоколов, условия безопасности функционирования установки, требования к отображению и фиксации измерительной информации</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Обзор литературных источников; - Анализ технических схем газовой установки; - Разработка алгоритмов для реализации процесса измерения параметров и условий безопасности функционирования установки; - Разработка программного кода, реализующего логику управления и пользовательский интерфейс системы управления газовой установкой; - Социальная ответственность; - Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - Заключение.
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Гаранин Георгий Викторович	К. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Халеев Дмитрий Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б71	Халееву Дмитрию Евгеньевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 «Физика»

Тема ВКР:

Разработка программного обеспечения для управления и измерения параметров газовой физической установки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: программное обеспечение (алгоритм). Рабочее место – лаборатория. Эксперименты проводятся на основе вакуумной системы</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования – ГОСТ 22615-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования. – ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека – Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата – Превышение уровня шума – Повышенный уровень электромагнитных излучений – Недостаточная освещенность рабочей зоны

3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: выбросы экспериментальных отходов Литосфера: отходы
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: – сильные морозы – возникновение возгорания Наиболее типичная ЧС: утечка газа из баллона

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Халеев Дмитрий Евгеньевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0Б71	Халеев Дмитрий Евгеньевич

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 «Физика»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– Максимальный бюджет НИ – 375500 руб. – Интегральный показатель ресурсоэффективности 4.25.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа: выявление потенциальных клиентов, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения НИИ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоёмкости работ для НИИ, разработка графика проведения НИИ (диаграмма Ганта), составление бюджета НИИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИИ.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Халеев Дмитрий Евгеньевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение Экспериментальной физики
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 20 /20 учебного года)

Форма представлении работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.09.2020	Формулировка задачи проектирования	15
01.11.2021	Разработка программного модуля	15
15.04.2020	Апробация программного модуля	20
04.05.2021	Анализ результатов	15
10.05.2021	Социальная ответственность	15
20.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
05.06.2021	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Гаранин Г.В.	К. Т. Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Скларова Е.А.	К.П.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 76 страниц, 17 рисунков, 24 таблицы, 20 литературных источников, 4 приложения.

Ключевые слова: экспериментальная SCADA-система, установка типа Сиверст, сорбция водорода, автоматизация газового комплекса.

Объектом исследований являлся автоматизированный комплекс управления газовыми процессами.

Целью работы: разработка программного модуля контроля и управления газовым комплексом.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. разработать программный модуль контроля состояния основного и вспомогательного оборудования газового комплекса.
2. разработать программный модуль сбора и обработки параметров термодинамических процессов.
3. разработать алгоритмы предотвращения аварийных ситуаций и условия аварийных блокировок / отключений
4. разработать программный модуль вывода информации о термодинамических процессах в виде графиков и численных значений.
5. разработать пользовательский интерфейс, обеспечивающий передачу оперативной и точной информации о состоянии комплекса оператору.
6. разработать алгоритмы предотвращения аварийных ситуаций и условия аварийных блокировок / отключений

Оглавление

РЕФЕРАТ	9
Введение.....	13
Глава 1. Формулировка задачи проектирования	14
1.1 Описание технологического процесса	14
1.2 Выбор архитектуры автоматизированной системы.....	15
Глава 2. Метод решения задачи.....	17
2.1 Входные данные	17
2.2 Выходные данные	18
2.3 Условия безопасности.....	19
2.3.1 Условие В.....	19
2.3.2 Условие Г	20
2.3.3 Условие Д.....	20
2.3.4 Условие ДД.....	21
2.4 Методика апробации.....	21
Глава 3. Технология разработки программного обеспечения.....	22
3.1 Проектирование структуры программы	22
3.2 Система безопасности газового комплекса	23
3.3 Модуль контроля пневматической системы	25
3.3.1 Описание логической структуры	25
3.3.2 Пользовательский интерфейс	26
3.3.3 Функциональное тестирование	27
3.4 Модуль обработки экспериментальных данных.....	29
3.4.1 Описание логической структуры	30
3.4.2 Пользовательский интерфейс	31
3.4.3 Функциональное тестирование	32
3.5 Апробация программного обеспечения.....	38
Глава 4. Социальная ответственность.....	39
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. 39	

4.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	40
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	40
4.2	Производственная безопасность.....	40
4.3	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	41
4.3.1	Отклонение показателей микроклимата.....	41
4.3.2	Превышение уровня шума.....	43
4.3.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	43
4.3.4	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	44
4.3.5	Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ.....	45
4.4	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.....	45
4.5	Экологическая безопасность.....	46
4.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	47
Глава 5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности.....	49
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	49
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	50
5.1.3	SWOT-анализ.....	51
5.1.4	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	53
5.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	54
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	54
5.2.2	Разработка графика поведения научного исследования.....	55
5.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	58
5.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	58

5.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	58
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	59
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).	60
5.3.5	Накладные расходы	61
5.3.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	61
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования	61
	Заключение	64
	Список литературы	65
	Приложение А Программный код родительского модуля	67
	Приложение Б Программный код системы безопасности	69
	Приложение В Программный код модуля пневматической системы	72
	Приложение Г Программный код модуля обработки данных	74

Введение

Эффективное и экономически выгодное хранение водорода является важнейшей задачей для водородной энергетики. Металлогидриды представляют собой класс материалов, которые способны накапливать водород при нормальных и доступных условиях. На сегодняшний день разработано множество способов получения металлогидридов на основе различных составов. Однако, чтобы соответствовать целевым показателям эффективности, необходимо повышать объемную плотность накапливаемого водорода, скорость насыщения, а также снижать стоимость металлогидридов.

Разработка новых металлогидридов включает в себя изучение кинетических свойств гидрирования и дегидрирования исследуемого материала. Исследования взаимодействия водорода с твердым телом проводятся в газовом комплексе, в котором происходит насыщение материала из газовой атмосферы при повышенном давлении и температуре, т.е., методом Сиверкса.

Цель работы – разработать программный модуль контроля и управления газовым комплексом для изучения процессов сорбции-десорбции водорода в твердых телах. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать программный модуль контроля состояния основного и вспомогательного оборудования газового комплекса;
- разработать программный модуль сбора и обработки параметров термодинамических процессов;
- разработать алгоритмы предотвращения аварийных ситуаций и условия аварийных блокировок / отключений;
- разработать программный модуль вывода информации о термодинамических процессах в виде графиков и численных значений;
- разработать пользовательский интерфейс, обеспечивающий передачу оперативной и точной информации о состоянии комплекса оператору;
- провести апробацию программных модулей.

Глава 1. Формулировка задачи проектирования

Автоматизированный комплекс управления газовыми процессами предназначен для определения сорбционных и десорбционных характеристик различных материалов как в ручном, так и в полностью в автоматических режимах проведения экспериментального исследования. Использование вычислительной техники необходимо для создания высокоточных аппаратно-программируемых средств измерения термодинамических параметров газа и методик обработки полученных данных.

Разработка программного обеспечения декомпозируется на подзадачи. Основываясь на функциональном назначении объекта управления, выбирается метод разработки. По спецификации оборудования газового комплекса определяются уровни программно-аппаратной платформы. Нижний уровень проектируется на основе архитектуры программного обеспечения и условий безопасности. Наполнение программных модулей алгоритмами сбора, обработки и вывода информации от измерительных устройств, а также алгоритмами контроля и управления исполнительными устройствами. Интеграция функциональной схемы через пользовательский интерфейс с возможностью контроля устройствами газового комплекса. Функциональное тестирование и верификация программного обеспечения.

1.1 Описание технологического процесса

Эксперимент по исследованию сорбционных и десорбционных характеристик газа в твердых телах проходит в несколько этапов. [1]. На этапе подготовки газового комплекса образец исследуемого материала взвешивается и помещается в газовый реактор. Затем оператор устанавливает соединение газового комплекса с программным обеспечением через интерфейс подключения к компьютеру. С помощью программного обеспечения оператор запускает процедуру откачки воздуха из газового комплекса вакуумным насосом.

Когда система проходит оценку герметичности, оператор начинает процесс термопрограммируемой сорбции. В газовом ректоре с образцом устанавливается рабочее давление: для реакции гидрирования это давления от 2 до 50 бар. Затем устанавливается начальная температура и скорость нагрева. Оператор ожидает прохождения реакции. Когда образец поглощает предельное количество газа, процесс завершается. Реактор охлаждается, и, оставшийся в камере, рабочий газ сбрасывается в атмосферу. Образец забирается из реакционной камеры. Собранные, в ходе эксперимента, данные сохраняются для последующей обработки.

К программному обеспечению для управления газовым комплексом выдвигается ряд концептуальных требований. Программный модуль должен получать, обрабатывать и визуализировать информацию от измерительных устройств, передавать данные на программируемый логический контроллер управления исполнительными устройствами.

Необходимо предоставить оператору выбор ручного или автоматического управления газовым комплексом. Ручной режим должен быть гибким и обладать множеством возможностей тонкой настройки параметров процесса. Автоматический режим должен точно следовать заложенным инструкциям и мгновенно реагировать на изменения термодинамических параметров.

1.2 Выбор архитектуры автоматизированной системы

Существующим аналогам управления газовым комплексам присущи недостатки, устранение которых предполагается осуществить в данной работе. Наиболее распространённый метод управления газовой физической установкой типа Сиверст является SCADA-система на основе программного пакета LabView. Однако, использование коммерческих инструментальных средств неоптимально по ряду причин.

Процессы, изучаемые в газовом комплексе почти не воспроизводимы. Соответственно, на каждый эксперимент оператор вносит корректировки и изменения начальных условий. Тогда как коммерческие автоматизированные системы управления технологическими процессами предназначены для одинаковых, производственных алгоритмов.

Решением проблемы является создание уникального программного обеспечения на основе фреймворка. Работа фреймворка выступает в роли каркаса программного обеспечения. На этот каркас накладываются претендующие на многократное использование функциональные компоненты – модули [2]. Критерий выбора фреймворка – наличие основных возможностей и характеристик современных SCADA-систем [3]:

- поддержка работы с оборудованием комплекса;
- библиотека математических функций для обработки данных измерительных устройств;
- архивирование и хранение обработанной информации; представление текущей и архивной информации на дисплее;
- отображение и запись аварийных и предварительных ситуаций;
- печать отчётов и протоколов различной формы; ввод и передача команд оператора в контроллеры и другие устройства системы;
- регистрация всех действий оператора; защита от несанкционированного доступа и предоставление различных прав пользователям во время работы с системой;
- регистрация всех ошибок и событий внутри системы управления; реализация прикладных программ пользователя и их взаимосвязь с текущей измеряемой информацией и управленческими решениями;
- обеспечение связи с внешними базами данных;

Описанные возможности и характеристики системы присутствуют в языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt.

Глава 2. Метод решения задачи

Для решения задачи разработки программного обеспечения для управления газовым комплексом было выбрано следовать парадигме модульного программирования. Модульное программирование – это метод разработки программного обеспечения, в котором происходит разделение функциональности программы на независимые модули, каждый из которых содержит все необходимое для выполнения только одной задачи.

Модульное программирование позволяет облегчить построение больших программ и систем путем декомпозиции на более мелкие части. В качестве каркаса программы выступают модули, ответственные за входные данные, выходные данные и алгоритмы безопасности.

Для наполнения узлов системы автоматизации функциональным назначением необходимо определить свойства и параметры оборудования в узлах. Оборудование, предназначенное для измерения термодинамических параметров системы, рассматривается как входные данные. Выходные данные представляют собой команды управления исполнительными устройствами.

Контроль качества и эффективности алгоритмов программного обеспечения проводится в реальных условиях. Выдвигаются требования, соответствие которым подтверждается при апробации.

2.1 Входные данные

Входные данные поступают от десяти устройств измерения термодинамических параметров. Датчики давления и температуры подключены к микроконтроллеру компании Advantech (Тайвань). USB-4716 –это 16-ти канальный USB микроконтроллер принимающий аналоговые сигналы от датчиков. Используя порт USB, данные с АЦП приходят на ПК, где драйвер устройства передаёт программному обеспечению значение амплитуды тока сигнала.

Для расчета абсолютного значения необходимо перевести входящий сигнал из величины напряжения в значение давления. Датчики давления и температуры проградуированы и описываются линейным уравнением.

Расчет производится по формуле (1):

$$Y = A \left(\frac{[Y]}{\text{мА}} \right) \cdot \frac{U(\text{В}) \cdot 1000}{R(\text{Ом})} + B[Y], \quad (1)$$

где Y – величина ТД параметра, U (В) – считываемое контроллером значение напряжения устройства, R (Ом) – постоянное сопротивление в схеме, A – коэффициент перевода значения тока (мА) в величину ТД параметра (бар или °С), B – константа

Вакуумметр SingleGauge TPG 361 компании Pfeiffer Vacuum (Германия) в качестве интерфейса передачи данных использует последовательный (COM) порт и стандарт Ethernet. В обоих случаях ответом на запрос значения давления является строка, содержащая экспоненциальную запись действительного значения в десятичной системе счисления.

Входные данные объединяются в модуле обработки экспериментальных данных.

2.2 Выходные данные

Вывод данных используется для переключения состояния шестнадцати пневматических клапанов. Пневматический распределитель работает под управлением микроконтроллера компании Advantech. USB-4750 – это 32-х канальный USB микроконтроллер, позволяющий принимать и передавать цифровую информацию в виде 16-ти битного сигнала.

АЦП принимает маску состояния, содержащую значения от 0 до FF_{HEX} (255_{DEC}). Этого достаточно, чтобы контролировать до восьми клапанов, имеющих два возможных состояния: открыт или закрыт. Таким образом, в модуле контроля пневматической системы создаётся две битовые маски, каждый бит которой соответствует состоянию одного клапана.

Выходные данные объединяются в модуле контроля пневматической системы.

2.3 Условия безопасности

Безопасность в газовом комплексе обеспечивается проверкой условий состояния системы. При нарушении условия выполняется алгоритм, устанавливающий безопасное состояние. По отдельности каждое условие ответственно за безопасность оператора, оборудования и эксперимента.

Наименования клапанов в описании условий соответствуют технологическим обозначениям в документации к автоматизированному комплексу управления газовыми процессами (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Обозначения устройств в документации объекта автоматизации

Клапан	Назначение
K178	перекрывает доступ газа к вакуумному насосу.
K171 и K173	перекрывают доступ газа к чувствительным датчикам давления

2.3.1 Условие В

Условие разработано для проверки работы насоса во время вакуумирования системы. Условие В выполняется, если скорость откачки не менее 0.05 бар, а изменение температуры не более 0.05 К/с. Если условие В не выполнено, все открытые клапаны закрываются, появляется окно «Проверьте работу насоса». Блок-схема условия В изображена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 Блок-схема условия В

2.3.2 Условие Г

Условие разработано для проверки герметичности всего газового тракта. Условие Г выполняется если скорость изменения давления не более 0.05 бар/(100 с) и температуры 0.05 К/(100 с). Если условие Г не выполняется, все открытые клапаны закрываются, появляется окно «Проверьте герметичность системы».



Рисунок 2.2 Блок-схема условия Г

2.3.3 Условие Д

Чтобы не подвести высокое давление к насосу, перед открытием клапана К178 проверяется условие на величину давления в накопительном резервуаре. Условие Д выполняется если давление в накопительном резервуаре не превышает 1.65 бар. Если условие Д не выполняется, клапан К178 закрывается.



Рисунок 2.3 Блок-схема условия Д

2.3.4 Условие ДД

Для корректной работы датчиков, давление в системе должно быть менее 1.9 бар. Если условие ДД выполняется, клапаны К171 и К173 могут быть открыты. В ином случае, они закрываются.



Рисунок 2.4 Блок-схема условия Д

2.4 Методика апробации

Существуют требования, подлежащие проверке при испытании программы. Необходимо, чтобы программные модули, ответственные за входные данные, выходные данные и алгоритмы безопасности безотказно выполняли свои функции всё время работы газового комплекса.

Для проверки модуля обработки экспериментальных данных выдвигается требование о соответствии реальных, рассчитанных и отображаемых значений термодинамических параметров.

Для проверки модуля контроля пневматической системы выдвигается требование однозначности и мгновенности переключения состояния клапана.

Для проверки условий безопасности необходимо привести систему в состояние, близкое к небезопасному для газового комплекса, и зафиксировать заблаговременное выполнение условия.

Глава 3. Технология разработки программного обеспечения

Разработка осуществлялась на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt. Существует набор стандартов для программирования на языке C++. Один из наиболее важных – придерживаться одного стиля во всём проекте. Общий стиль программирования облегчает взаимодействия при разработке одной программы несколькими программистами. Использование единого стиля программирования для всего проекта улучшает читабельность кода и упрощает сопровождение проекта.

Разработка и написание программного продукта основывается на наполнении узлов системы автоматизации функциональным назначением. Модульный код с четким разделением меньше подвержен программным ошибкам, проще сопровождается и легче расширяется. Последовательность разработки модуля состоит из описания логической структуры, создания пользовательского интерфейса и функционального тестирования.

3.1 Проектирование структуры программы

Как отмечалось раньше, в качестве каркаса программы выступают модуль контроля пневматической системы, модуль обработки экспериментальных данных и система безопасности газового комплекса. Схема информационных потоков изображена на рисунке 3.1 в виде графа подчинённости модулей.

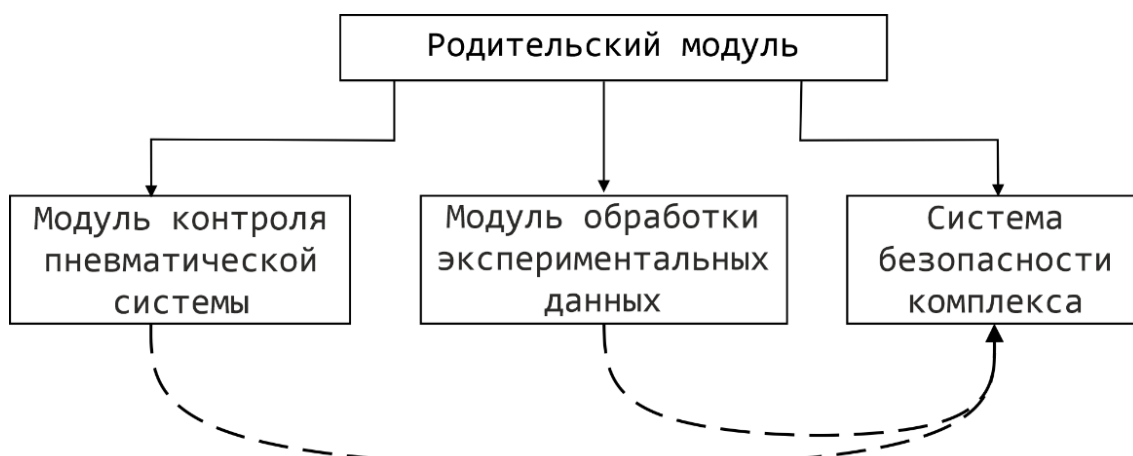


Рисунок 3.1 Граф подчинённости модулей

Необходимо, чтобы вся информация о состоянии комплекса передавалась системе безопасности газового комплекса. Для этого всем функциональным модулям передаётся указатель на поток системы безопасности. Таким образом, программное обеспечение постоянно обновляет состояние газового комплекса.

Поток представляет собой последовательность инструкций, которые выполняются параллельно с другими потоками. Классическое приложение использует один поток, который отвечает за элементы пользовательского интерфейса и реагирует на действия пользователя. Когда поток используется для выполнения длительной операции, пользовательский интерфейс становится недоступным. Так происходит, например, в программе WinRAR каждый раз, когда выполняется разархивация.

Если программа выполняет операции, которые могут выполняться параллельно, можно уменьшить общее время работы путем выполнения этих операций в отдельных потоках и запуска программы в многопроцессорной или многоядерной системе. В такой системе использование многопоточности может увеличить пропускную способность, а также повысить скорость реагирования

Каждый поток имеет приоритет планирования и набор структур, в которых система сохраняет регистры процессора и стек потока. Поток может исполнять любую часть программного кода, включая части, выполняемые в данный момент другим потоком.

Программный родительского модуля приведен в приложении А.

3.2 Система безопасности газового комплекса

Поток системы безопасности газового комплекса представляет собой бесконечный цикл, в котором проверяются условия безопасности. Использование бесконечного цикла необходимо, так как неизвестна длительность работы газового комплекса. Эксперимент может проходить в течении многих часов, в то время как цикл может повториться сотни раз за секунду, забирая всё процессорное время. Использование потоков позволяет ставить цикл на «паузу», что сильно снижает нагрузку на процессор.

В потоке системы безопасности применяется динамическая задержка. Цикл повторяется каждую секунду во время простоя и каждые сто миллисекунд при изменении параметров газового комплекса. Блок-схема системы безопасности газового комплекса изображена на рисунке 3.2.

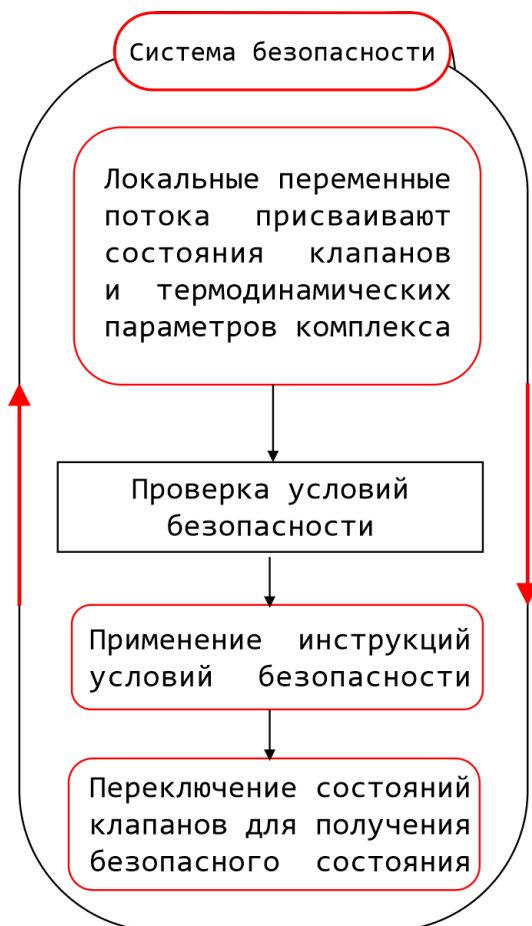


Рисунок 3.2 Блок-схема системы безопасности газового комплекса

Первым действием цикла система безопасности получает актуальную информацию о состоянии комплекса. Среди локальных переменных потока присутствуют логические состояния клапанов, вещественные значения термодинамических параметров и переменные флагов условий безопасности. Программный код системы безопасности приведен в приложении Б.

Поток использует локальные переменные чтобы проверить вышеописанные условия безопасности «В», «Г», «Д» и «ДД». При выполнении любого из условий, изменяется соответствующий ему флаг, и применяются инструкции для получения безопасного состояния. Если ни один из флагов не был изменён – значит комплекс в безопасном состоянии, и цикл повторяется.

3.3 Модуль контроля пневматической системы

Управление пневматической системой через программный модуль необходимо для автоматизации газового комплекса. Главная задача модуля – одновременный контроль всех пневматических клапанов системы.

Оператор переключает состояние необходимого клапана нажатием кнопки на пользовательском интерфейсе, а система безопасности газового комплекса проверяет, чтобы действие оператора не вызвало неблагоприятного исхода. При возникновении чрезвычайной ситуации, модуль отправляет команду на закрытие всех клапанов системы.

3.3.1 Описание логической структуры

Модуль контроля пневматической системы создаёт объект, внутри которого содержится информация о микроконтроллере USB-4750. Когда объект создан, производится инициализация: алгоритм передаёт запрос подключения к микроконтроллеру. Если USB-4750 отвечает на запрос, алгоритм переходит на следующий шаг – передача данных к микроконтроллеру. Команды пользователя передаются устройству до тех пор, пока программный модуль не завершит работу. При завершении работы, алгоритм удаляет созданный объект, чтобы освободить память.

Логические состояния клапанов передаются на микроконтроллер восьмибитной маской. Чтобы изменить состояние одного из клапанов, необходимо изменить соответствующий бит маски. Когда оператор переключает состояние необходимого клапана нажатием кнопки на пользовательском интерфейсе, программа добавляет или отнимает десятичное значение. Каждому клапану соответствует идентификационный номер от нуля до шестнадцати. Например, чтобы включить клапаны 0, 2 и 4 программный модуль изменяет значения битовой маски на значение 2^{id} :

$$\text{val} = 1 + 4 + 16 = 21_{10} = 00010101_2 \quad (2)$$

Чтобы модуль мог определить текущее состояние отдельного клапана не обязательно создавать шестнадцать дополнительных переменных, достаточно использовать битовые операции над маской. По нажатию на кнопку клапана id=4 на пользовательском интерфейсе, программа произведёт битовую операцию:

```
if ((0x10 & val) != 0x10) val += 16; else val -= 16;
```

В данном случае если значение val было 00010101, то условие if будет ложным, и от переменной val отнимется 16, что в итоге даст 00000101. Полученное значение определяет включенный 1 и 3 клапаны. Программный код модуля контроля пневматической системы приведен в приложении В.

3.3.2 Пользовательский интерфейс

Модуль контроля пневматической системы представляет собой окно диспетчерского управления комплексом, которое показано на рисунке 3.3.

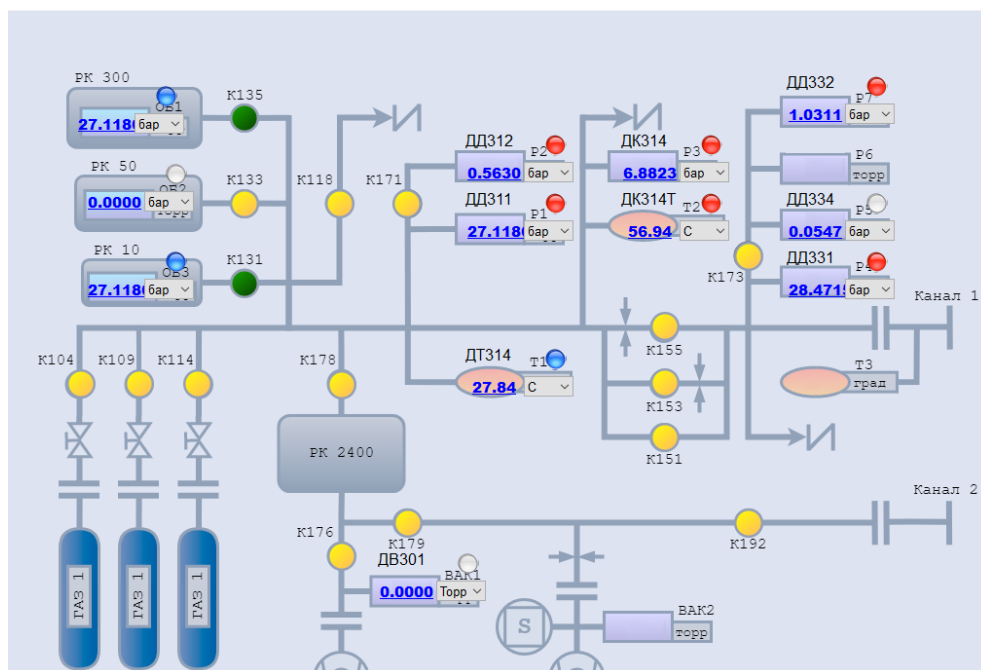


Рисунок 3.3 Интерфейс модуля контроля пневматической системы

Пневматические клапаны помещены на условную схему в виде круглой кнопки. Цвет кнопки отражает текущее состояние клапана: желтый, если клапан закрыт, и зелёный если открыт. Нажатие на кнопку мгновенно вызывает сигнал изменения битовой маски.

Соответственно, цифровой сигнал на микроконтроллер тоже поступает мгновенно. Но если выполнится условие безопасности, и клапан надо закрыть, то какое количество времени приходится на обработку пневматической системы? Для проверки модуля контроля пневматической системы выдвигается требование однозначности и мгновенности переключения состояния клапана.

3.3.3 Функциональное тестирование

Существует фиксированный временной интервал срабатывания пневматической системы, в течении которого один клапан успевает открыться, пропустить некоторое количество газа и закрыться. Модуль контроля пневматической системы должен учитывать этот интервал чтобы система безопасности могла в кратчайший промежуток преградить путь газу в чрезвычайной ситуации.

Сам временной интервал определяется временем обработки команды переключения в программном обеспечении, передачи сигнала на микроконтроллер, а также временем подачи воздуха пневматической системой. Чтобы открыть клапан, сжатый воздух подаётся внутрь клапана, тем самым отжимая пружину удерживающую перегородку. Для закрытия клапана воздух внутри него выпускается, и перегородка опускается.

Для поиска интервала срабатывания пневматической системы был написан алгоритм, по которому устанавливается задержка между двумя состояниями клапана – закрытым и открытым.

Для точного определения факта срабатывания пневматической системы эксперимент проводился на клапане K151, находящимся между частями комплекса, оборудованными датчиками давления. Таким образом, факт срабатывания клапана определяется изменением давления с обеих частей комплекса.

На рисунке 3.4 изображена условная схема газового комплекса, с разделением на часть В перед клапаном K151 и часть Е после клапана K151.

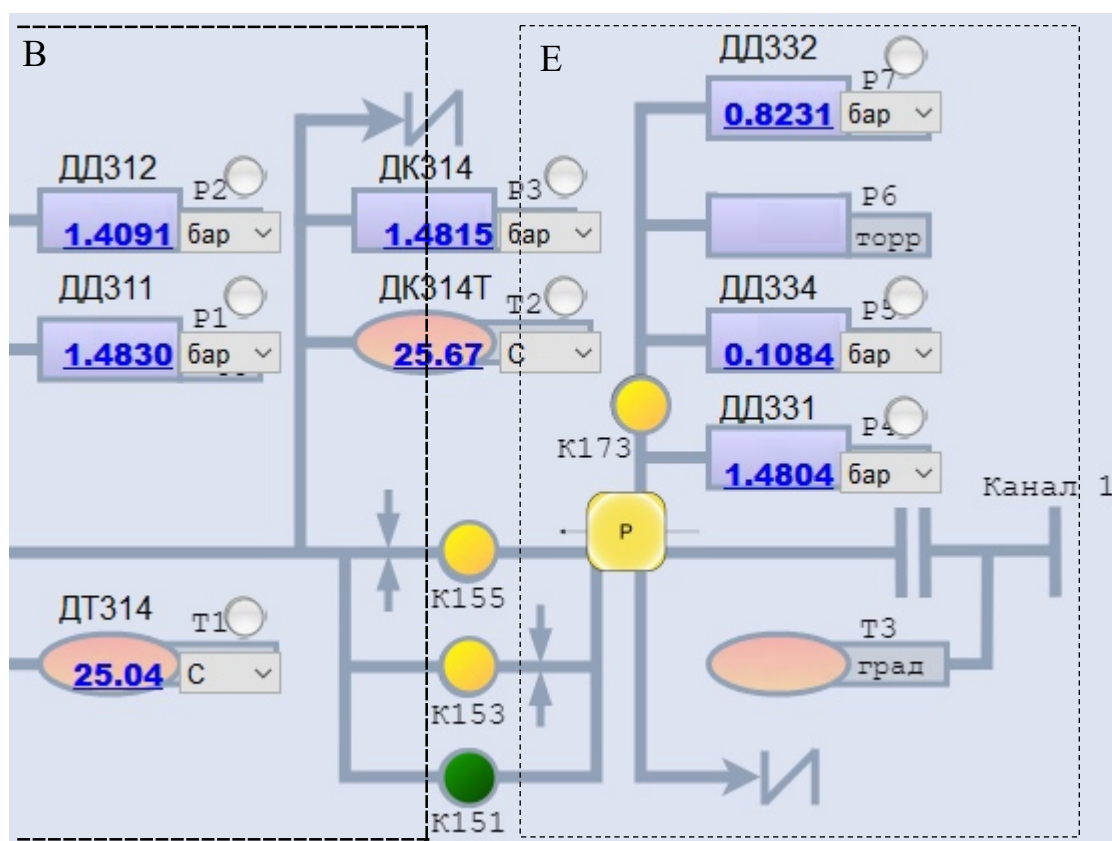


Рисунок 3.4 Условная схема газового комплекса

Время передачи сигнала программным обеспечением и работа микроконтроллера занимает 10 мс. Если одновременно передать сигнал открывающий и закрывающий клапан, то пневматическая система не успеет подать достаточно воздуха до того, как клапан его выпустит. Таким образом, необходима дополнительная временная задержка для напуска сжатого воздуха.

Эксперимент проводился с начальными условиями: 3 бара в части комплекса В и 1 бар в части комплекса Е. В программном модуле задавалась временная задержка и, по нажатию кнопки, передавался сигнал открывающий и закрывающий клапан. Затем фиксировалось изменение давления в обеих частях комплекса. Эксперимент проводился в диапазоне значений от 10 до 20 мс. Полученные результаты изменения давления были пересчитаны в изменение количества газа. В случае, когда изменение давления являлось величиной погрешности датчика, считается, что клапан не был открыт. По полученным данным построена зависимость изменения количества газа и процент срабатывания клапана от временной задержки, изображенная на рисунке 3.5.

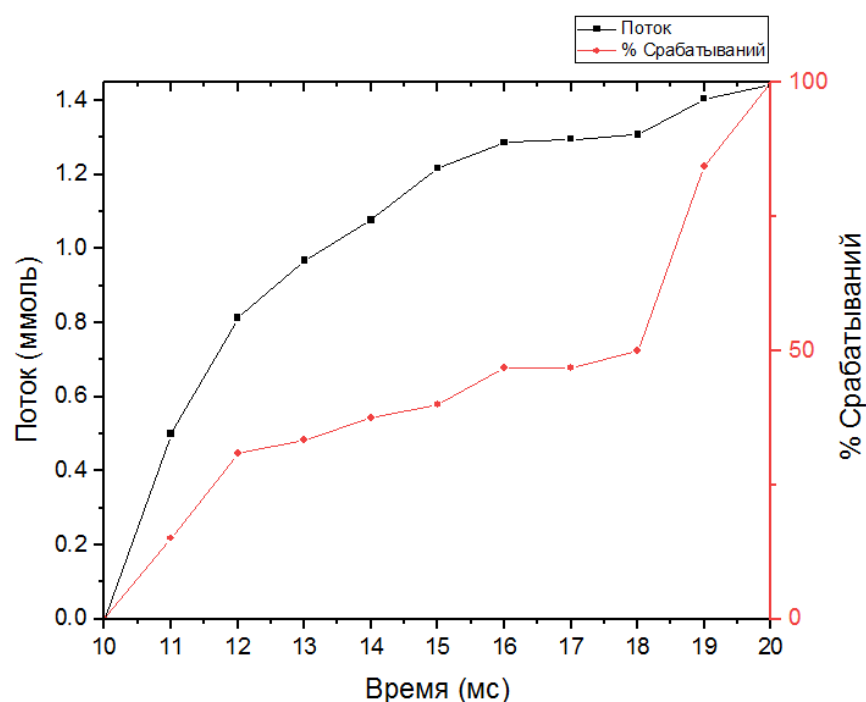


Рисунок 3.5. Зависимость изменения количества газа и процент срабатывания клапана от временной задержки

Исходя из полученной зависимости можно утверждать, что изменение состояния клапана с открытого на закрытый происходит при временной задержке, равной 20 мс. Следовательно, дополнительная задержка для подачи сжатого воздуха пневматической системой равна 10 мс.

3.4 Модуль обработки экспериментальных данных

Измерение термодинамических параметров автоматизированного комплекс управления газовыми процессами происходит в течении всего времени работы с установкой. Начиная с этапа вакуумирования и заканчивая процессом сорбции или десорбции водорода оператор ориентируется на показатели давления, температуры и скорости их изменения. Главная задача модуля — определение абсолютных величин термодинамических параметров по данным от измерительных устройств, обработка и визуализация информации. Оператор опирается на данные при принятии решений, а система безопасности следит, чтобы параметры находились в фиксированном диапазоне значений.

3.4.1 Описание логической структуры

Модуль обработки экспериментальных данных создаёт объект, внутри которого содержится информация о микроконтроллере USB-4716. Когда объект создан, производится инициализация: алгоритм передаёт запрос подключения к микроконтроллеру. Если USB-4716 отвечает на запрос, алгоритм переходит на следующий шаг – получение данных от микроконтроллера. Среди параметров есть ширина канала, то есть пользователь может настроить модуль на то количество датчиков, с которых он хочет получать данные. Максимальное число каналов у USB-4716 равно шестнадцати. Считывание данных измерительных устройств происходит до тех пор, пока программный модуль не завершит работу. Последним действием программа уничтожает созданный объект, чтобы освободить память.

Всего в газовом комплексе установлено семь датчиков давления, два датчика температуры и один вакуумметр. Средствами языка программирования C++ выделяется память на создание объекта измерительного устройства. Виртуальное устройство имеет идентификационный номер, вещественную переменную для текущего значения измеряемой величины и двумерный массив значений с привязкой ко времени.

Каждые десять миллисекунд виртуальное устройство обращается к микроконтроллеру для получения величины напряжения на канале, соответствующему номеру модуля. Абсолютное значение термодинамического параметра рассчитывается по формуле (1) и сохраняется в переменной модуля.

При стандартной работе газового комплекса измерять величину давления или температуры достаточно лишь раз в секунду, поэтому мгновенное значение сначала фильтруется и усредняется, а потом помещается в массив секундных значений. Затем, секундные значения усредняются для восьмисекундного, минутного и восьмиминутного массивов. Для каждого массива выделена память под 120 значений, таким образом каждое виртуальное измерительное устройство содержит историю изменений в диапазоне от двух минут до шестнадцати часов.

Для фильтрации данных используется линейное сглаживание абсолютных значений. Расчётная формула фильтрации (3) использует мгновенную величину измеренного параметра и предыдущее ему значение:

$$Y_i = Y_{abs} \cdot f + Y_{i-1} \cdot (1 - f), \quad (3)$$

где f – коэффициент линейной фильтрации, Y_{abs} – мгновенная величина параметра, Y_{i-1} – предыдущая величина параметра. Программный код модуля обработки экспериментальных данных приведен в приложении Г.

3.4.2 Пользовательский интерфейс

Модуль визуализации экспериментальных данных фильтрует и отображает значения термодинамических параметров. График строится по значению давления в барах и значению температуры в градусах Цельсия на отдельных осях. Модуль позволяет выбрать временной диапазон отображения данных и динамически подстраивается под выбранные устройства вывода.

На рисунке 3.6 изображён интерфейс модуля визуализации экспериментальных данных.

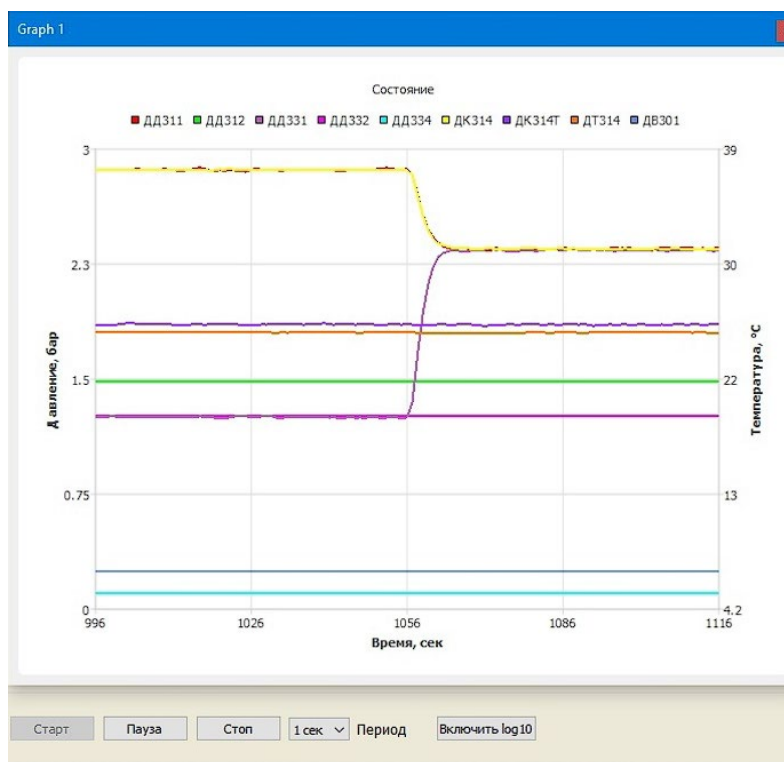


Рисунок 3.6 Интерфейс модуля визуализации экспериментальных данных

3.4.3 Функциональное тестирование

Обработка экспериментальных данных газового комплекса представляет собой интерпретацию изменения термодинамических параметров после действия оператора. Изучение кинетических процессов включает в себя получение экспериментальных зависимостей, построение модели и применение численных методов для прогнозирования состояния газового комплекса при любых начальных условиях. На Рисунке 3.7 изображена блок-схема получения и применения модели кинетических процессов в газовом комплексе [4].



Рисунок 3.7 Блок-схема получения и применения модели кинетических процессов в газовом комплексе

Для корректной работы программного обеспечения и верной постановки эксперимента должны быть определены физические параметры течения газа. Так как процесс выравнивания давления не мгновенный, необходимо учитывать время, за которое газ распределится по комплексу. Следуя блок-схеме, была разработана модель распространения газа по комплексу в зависимости от разницы давлений между двумя частями комплекса. В ходе эксперимента газ аккумулировался в части комплекса В (См. рисунок 3.4) перед тем, как наполнить часть комплекса Е и, соответственно, камеру реактора.

Процесс распределения давления в комплексе может быть представлен математической моделью. Модель позволяет узнать значение давления в любой момент времени процесса. Физическая аппроксимация состоит в приближении математической функции к данным эксперимента с помощью коэффициентов. Определив физический смысл коэффициентов функции, полученную зависимость можно экстраполировать на любые начальные условия.

Аппроксимирующая функция должна быть простой для реализации на ЭВМ и позволяла судить об изменении коэффициентов аппроксимации при изменении характеристик процесса [2].

Для получения точных данных эксперимент проводился на клапанах, находящимся между частями комплекса, оборудованными датчиками давления. Таким образом, до установления равновесия, давление фиксируется с обеих частей комплекса. До клапана К155, со стороны части комплекса В, и после клапана К153, со стороны части комплекса Е, установлены регулируемые газовый расход щели. Первая щель имеет больший расход, вторая – меньший; соотношение расходов приблизительно равно 1/3.

Характерный вид экспериментальных данных процесса установления равновесия большего давления в части комплекса В с меньшим в части комплекса Е изображен на рисунке 3.8.

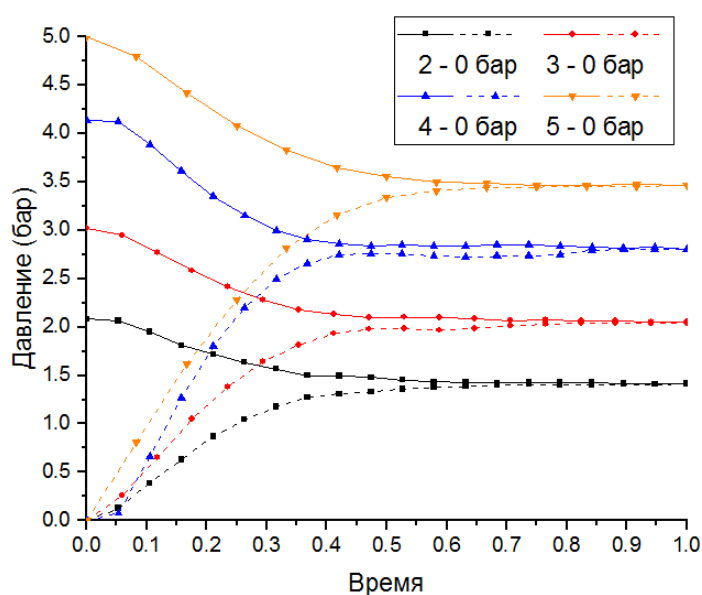


Рисунок 3.8 Характерный вид экспериментальных данных процесса установления равновесия

Из графика изменения давления можно выделить закономерность – при любых начальных условиях давление асимптотически приближается к давлению равновесия. Следовательно, процесс может быть описан асимптотической функцией $\tanh(t)$, $1/x$ или $\exp x$. Наибольшую сходимость с наименьшим количеством коэффициентов имеет экспоненциальная функция. На рисунке 3.8 изображены аппроксимированные экспериментальные данные. Значения давлений нормированы по величине $dP = P_1 - P_2$.

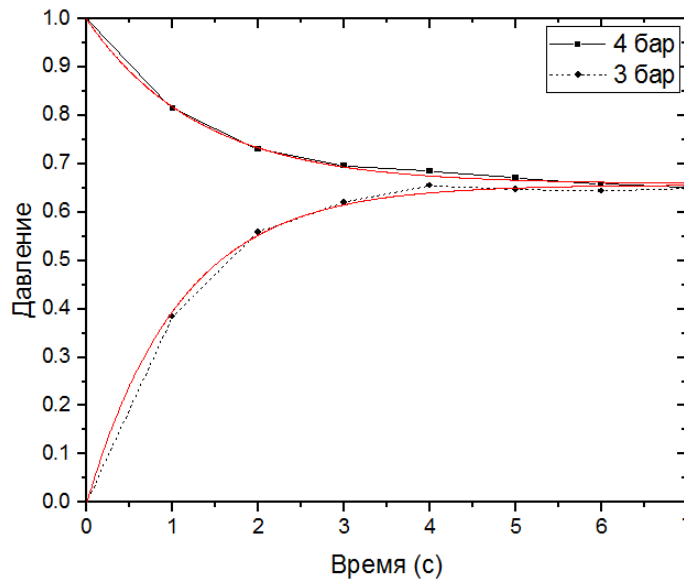


Рисунок 3.9 Аппроксимированные экспериментальные данные процесса установления равновесия

Уравнение (4) описывает красную, приближенную к эксперименту, кривую и состоит из трёх основных параметров:

$$P(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + y \quad (4)$$

A – предэкспоненциальный множитель, τ – скорость убывания экспоненты, y – константа.

Выражение для двух, сходящихся кривых представляется системой (5):

$$\begin{cases} P_1(t) = A_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + y_1 \\ P_2(t) = A_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) + y_2 \end{cases} \quad (5)$$

Используя начальные условия можно выразить параметр y :

$$\begin{cases} P_1(0) = A_1 + y_1 = 1 \rightarrow y_1 = 1 - A_1 \\ P_2(0) = A_2 + y_2 = 0 \rightarrow y_2 = -A_2 \end{cases} \quad (6)$$

Подставляя полученные значения в общую систему

$$\begin{cases} P_1(t) = A_1 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - A_1 + 1 \\ P_2(t) = A_2 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) - A_2 \end{cases} \quad (6)$$

Величина предэкспоненциального множителя численно равна величине:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{P_1 - P_c}{P_1 - P_2} \\ A_2 = \frac{P_2 - P_c}{P_1 - P_2} \end{cases}, \quad (7)$$

где P_c – это давление равновесия, рассчитываемое по формуле (8):

$$P_c = \frac{P_2 V_2 + P_1 V_1}{V_1 + V_2} \quad (8)$$

V_1 – это постоянный объем части комплекса В, V_2 – объем части комплекса Е

В конечной системе параметры A и τ выражены через измеряемую величину давления, но параметр τ остаётся неизвестным:

$$\begin{cases} P_1(t) = \frac{P_1 - P_c}{P_1 - P_2} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + \frac{P_c - P_2}{P_1 - P_2} \\ P_2(t) = \frac{P_2 - P_c}{P_1 - P_2} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) - \frac{P_2 - P_c}{P_1 - P_2} \end{cases} \quad (9)$$

Чтобы определить скорость убывания экспоненты τ необходимо провести серию опытов с различными начальными условиями и найти аналогичные экспоненциальные функции полученной выборки. В качестве начальных условий эксперимента были выбраны давления 5 и 4 бар в части комплекса В и меньшее давление в части комплекса Е.

Сначала эксперимент проводился на быстром клапане К155. Значения параметра τ для каждой комбинации давлений записаны в Таблице 3.1:

Таблица 3.1 – Значения параметра τ процесса на быстром клапане К155

Опыт, бар	4 – 0	4 – 1	4 – 2	4 – 3	5 – 0	5 – 1	5 – 2	5 – 3	5 – 4
τ_1 , сек	2.44	1.95	1.72	1.32	2.02	2.32	2.40	1.87	1.47
τ_2 , сек	2.26	1.85	1.61	1.08	1.88	2.17	2.17	1.78	1.39

Затем эксперимент с такими же начальными условиями проводился на медленном клапане К153. Значения параметра τ для каждой комбинации давлений записаны в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения параметра τ процесса на медленном клапане K153

Опыт, бар	4 – 0	4 – 1	4 – 2	4 – 3	5 – 0	5 – 1	5 – 2	5 – 3	5 – 4
τ_1 , сек	25.86	23.04	20.50	18.02	24.25	21.57	18.77	16.01	16.54
τ_2 , сек	25.93	23.70	20.65	18.35	24.13	21.55	19.14	16.07	16.59

По полученным данным были построены графики зависимости значения параметра τ от величины разницы давлений dP . На рисунке 3.10 и рисунке 3.11 видно, как значения образуют линейную зависимость.

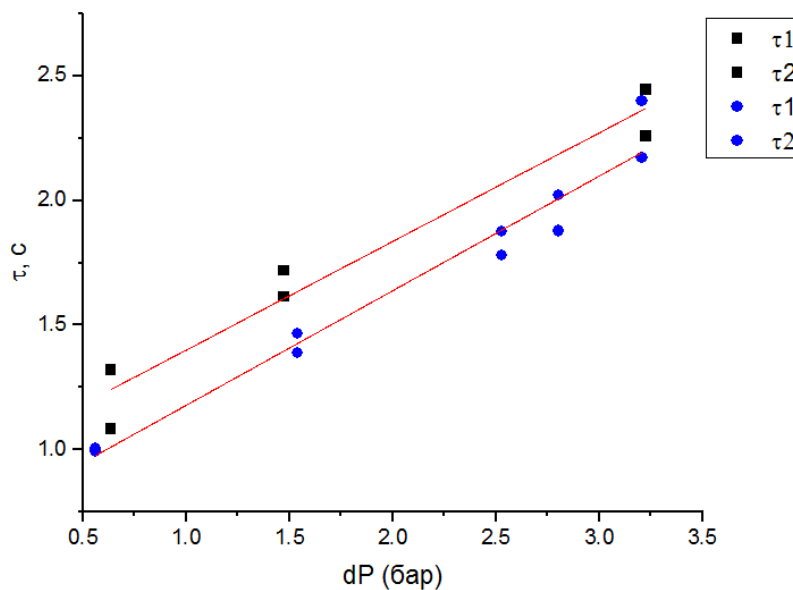


Рисунок 3.10 Зависимость значения параметра τ от величины разницы давлений dP на быстром клапане K155

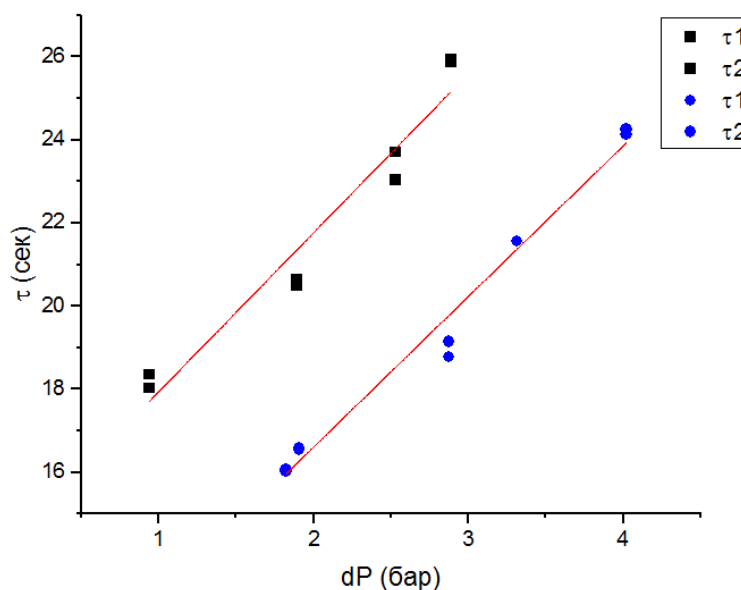


Рисунок 3.11 Зависимость значения параметра τ от величины разницы давлений dP на медленном клапане K153

Следовательно, когда все параметры модели определены, процесс установления равновесного давления можно рассчитать для любых начальных условий. Для апробации математической модели была рассчитана кривая для установления равновесия между 4 бар со стороны части комплекса В, и 2.5 бар со стороны части комплекса Е через быстрый клапан К155.

Затем получены экспериментальные данные установления равновесия с такими же начальными условиями. Сравнение реальной кривой и кривой математической модели показано на рисунке 3.12.

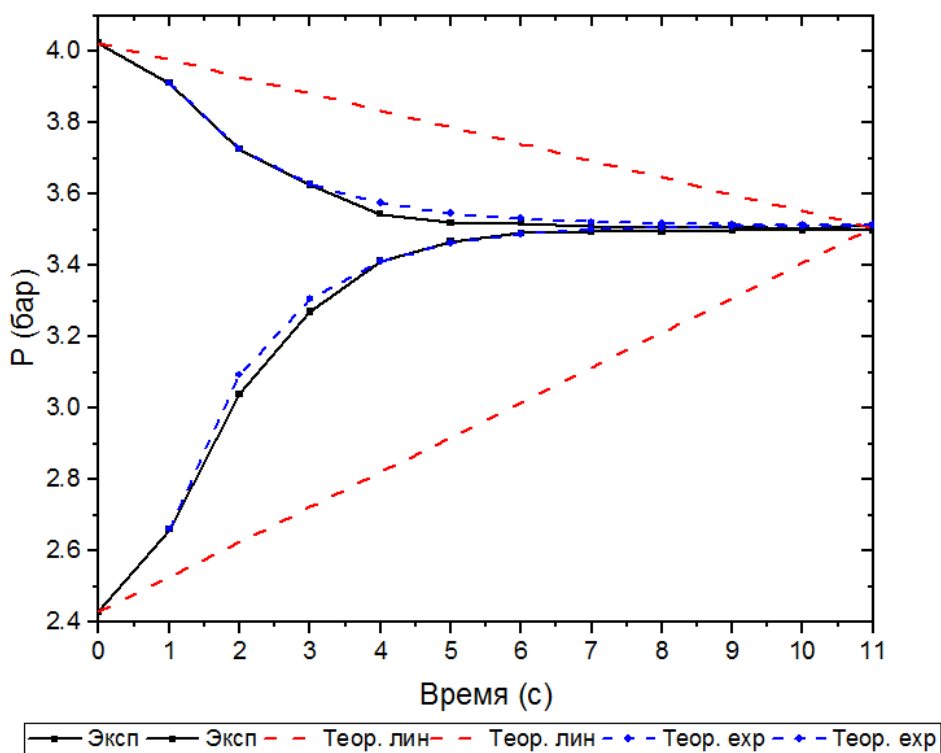


Рисунок 3.12 Сравнение реальной кривой и кривой математической модели

Коэффициент детерминации математической модели от реальной кривой равен 0.99848. Это означает, что среднеквадратическое отклонение равно 0.039. Следовательно, оператор может с достоверной точностью оценить время прохождения кинетического процесса. Таким приближением можно пользоваться для обеспечения корректной работы программного обеспечения и верной постановки эксперимента. Модель процесса выравнивания позволяет получить необходимое оператору давление просто перекрыв клапан в некоторый момент времени, когда теоретическая кривая прогнозирует требуемое давление.

3.5 Апробация программного обеспечения

Следуя методике апробации, были проведены испытания программных модулей, ответственных за входные данные, выходные данные и алгоритмы безопасности. Программное обеспечение показало стабильное выполнение алгоритмов при непрерывной работе в течении восьми часов.

Для проверки условий безопасности система приводилось в состояние, близкое к небезопасному для газового комплекса. Выполнение условия происходило мгновенно и безотказно всё время работы газового комплекса.

Модуль контроля пневматической системы проверялся на однозначность и мгновенность переключения состояний клапанов. Изменение состояний клапанов через пользовательский интерфейс выполнялось всё время работы газового комплекса без ошибочных срабатываний. Смена состояния клапана с открытого на закрытый происходило при временной задержке, равной 20 мс, что намного меньше скорости восприятия оператора.

Была проведена проверка модуля обработки экспериментальных данных на соответствие реальных, рассчитанных и отображаемых значений термодинамических параметров. На пользовательском интерфейсе отображается четыре значащих цифры текущего значение давления. Следовательно, погрешность отображаемого значения менее 0.01%. Рассчитанное с помощью математической модели значение давления имеет погрешность равную 0.15%. Определенные погрешности меньше погрешности измерительного устройства поэтому ими можно пренебречь.

Во время работы программного модуля производится автоматическая запись выполнения операций в хронологическом порядке. За тридцать дней в журнале было зафиксировано два сбоя программного обеспечения. По названию операции и времени сбоя была определена и исправлена ошибка в модуле.

Возможность записи в текстовом файле значений параметров газового комплекса в соответствии с точным временем позволяет изучать результаты апробации газового комплекса с любого компьютера.

Глава 4. Социальная ответственность

Введение

В настоящей выпускной работе ведется разработка программного обеспечения для автоматизированного комплекса для изучения процессов сорбции-десорбции водорода в твердых телах. При полной автоматизации роль оператора автоматизированного комплекса ограничивается помещением образца в камеру, подключением газовых источников и настройкой аппаратуры. Оператор автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) ответственен за управление технологическим процессом и принятие решение в случае чрезвычайных ситуаций.

Из-за внедрения АСУ оператор будет работать с таким оборудованием как персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ), измерительные устройства (датчики давления, температуры), регулирующие клапаны и программируемый логический контроллер (ПЛК).

Строгое выполнение организационных и технических мероприятий при проведении работ с электроустановками, очень важно в целях предупреждения электротравматизма, а выполнение норм пожарной безопасности позволит не допустить развитие ошибки оператора до чрезвычайной ситуации.

Необходимо разработать организационные меры обеспечения безопасности установки и меры безопасности в чрезвычайных ситуациях. Провести анализ влияния вредных и опасных факторов во время работы автоматизированного комплекса. Будут рассмотрены условия работы с установкой, существующие средства и методы защиты, а также технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Согласно трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю и ежегодный оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, работающих в условиях неполного рабочего времени, нагрузка устанавливается пропорционально занимаемой ставке.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Рациональная планировка рабочего места должна обеспечивать: наилучшее размещение орудий и предметов труда, не допускать общего дискомфорта, уменьшать утомляемость работника, повышать его продуктивность труда.

Работа выполнялась в лаборатории третьего корпуса ТПУ. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.» [9], должны быть соблюдены требования к размещению средств отображения информации. Средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости.

4.2 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» выделен перечень опасных и вредных факторов, характерных для рабочей производственной среды. Перечень занесен в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата		+		Требования к допустимым параметрам микроклимата регулируются ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [10] и СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [11].
2. Превышение уровня шума	+	+		Требования к допустимым уровням шума приводятся в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности [12].
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	Требования к допустимым уровням электромагнитных полей приводятся в ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [13].
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+		Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [14]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	Требования к обеспечению электробезопасности приводятся в ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ Средства защиты работающих Общие требования и классификация [15]. А также в ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [16]
6. Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ		+	+	Требования к взрывозащите приводятся в ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ Взрывобезопасность Общие требования. [17]

4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

4.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений определяет величину температуры, влажности и скорость движения воздуха внутри помещений. [10].

Нормы для производственных помещений устанавливаются с учетом тяжести выполняемой работы и времени года [11]

Перегрев организма наступает при высокой температуре воздуха и высокой относительной влажности, которые сопровождаются низкой подвижностью воздушной массы. При наступлении переохлаждения снижается температура тела, происходит сужение кровеносных сосудов, возникают сбои в работе сердечно-сосудистой системы.

Нормативные значения параметров микроклимата установлены в ГОСТ 12.1.005–88 и СанПиН 1.2.3685-21. Поскольку выполняемые работы, связанные с ходьбой, не нуждаются в систематическом физическом напряжении или поднятии и переносе тяжести, то они относятся к категории Ib. Энергетические затраты организма на выполнения находятся в диапазоне 140-174 Вт. Допустимые и оптимальные значения параметров микроклимата для данной категории работ, в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 и СанПиН 1.2.3685-21, приведены в таблице 4.2 и таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Допустимый микроклимат для легких работ категории Ib

Период	Температура воздуха, °С				Влажность воздуха %	Скорость движения воздуха, м/с
	допустимая					
	верхняя граница		нижняя граница			
	на рабочих местах					
	постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных	на рабочих местах – постоянных и непостоянных	на рабочих местах – постоянных и непостоянных
Холодный	24	25	20	17		
Теплый	28	30	21	19	60 – при 27 °С	0,1 - 0,3

Таблица 4.2 – Оптимальный микроклимат для легких работ категории Ib

Период	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	60-40	0,1
Теплый	22-24	60-40	0,2

4.3.2 Превышение уровня шума

Шум является биологическим раздражителем, способным влиять на все органы и системы организма, вызывая разнообразные физиологические изменения.

В ходе проведения экспериментов научного исследования возникает производственный шум из-за работы вакуумных насосов. Длительное воздействие шума на человека приводит к снижению остроты слуха, повышению кровяного давления, утомлению центральной нервной системы, что являются причинами ослабления внимания, увеличения ошибок в работе и снижения производительности труда.

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать допустимого уровня шума на рабочих местах используется ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности.» [12]. В таблице 4.4 представлены допустимые уровни звукового давления на рабочем месте.

Таблица 4.4 – Допустимые уровни звукового давления на рабочем месте

Вид деятельности	Частота, Гц							
	Уровни звукового давления, дБ							
Научная деятельность, проектирование	62	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	71	61	54	49	45	42	40	30

С целью снижения шума рекомендуется применять средства коллективной и индивидуальной защиты. Эффективным средством коллективной защиты могут быть звукоизолирующие кожухи и глушители шума. Примером применения средства индивидуальной защиты от шума является использование специальных противошумных наушников, шлемов, заглушек, вкладышей.

4.3.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В ходе проведения работы необходимо постоянно работать с компьютером. Известно, что компьютер является источником электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона. Длительное воздействие электромагнитных излучений приводит к нарушениям в центральной нервной и сердечно-сосудистых системах, катаракте, ломкости ногтей и выпадению волос. Действие электромагнитных полей проявляется в виде быстрой утомляемости, слабости, головной боли, снижения частоты пульса и повышения температуры.

При работе с компьютером временные допустимые уровни ЭМП нормируются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [13] и отображены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Нормы напряженности поля

Наименование параметров	Допустимые значения
Интенсивность электромагнитного поля на расстоянии 50 см. Вокруг ВДТ на электрическом компоненте должно быть не более: - в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - в диапазоне частот 2—400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: - в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - в диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать	500 В

4.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

На производительность труда существенное влияние оказывает освещение рабочего места. Правильная система освещения, без сомнений, обеспечивает высокую работоспособность и вызывает благоприятное психологическое действие на человека, что может способствовать увеличению производительности труда. Наоборот, проведение работ затрудняются в условиях недостаточного или слишком высокого освещения, что приводит к уменьшению производительности труда.

Соответственно СП 52.13330.2016 [14], любая система производственного освещения должна отвечать следующим требованиям:

1. соответствие между уровнем освещенности и характером выполняемой работой;
2. равномерное распределение яркости между рабочими
3. местами и окружающим пространством;
4. отсутствие резких теней и блескости;
5. стабильный уровень освещенности во времени;
6. обеспечение электро- и пожаробезопасности;
7. длительный срок службы и высокая экономичность.

4.3.5 Наличие взрывоопасных и воспламеняющихся веществ

Лаборатория, в которой выполнялись эксперименты, относится к категории «А» повышенная взрыво-пожароопасность. так как лаборатория содержит горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, а также вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа [18].

Поэтому, перед использованием и проведением работ с применением горючих газов должна проводиться проверка содержания в нем кислорода. Начинать работать разрешается только после того, как содержание кислорода внутри цистерны и оборудования будет не больше 19% (по объёму). Выпуск газов должен проводиться в специально отведённых местах, не имеющих покрытий из асфальта, дерева или других органических материалов [17].

4.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

К электрозащитным средствам относятся средства коллективной защиты такие как: изолирующие штанги всех видов (оперативные, измерительные, для наложения заземления); указатели напряжения всех видов (высокого, низкого) и классов напряжений (с газоразрядной лампой, бесконтактные, импульсного типа, с лампой накаливания и др.); бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения; защитные ограждения (щиты, ширмы, изолирующие накладки, колпаки). К средствам индивидуальной защиты от поражения электротоком относят: изолирующие и электроизмерительные клещи; переносные заземления; диэлектрические галоши, изолирующие боты и перчатки, каски защитные диэлектрические, изолирующие подставки, ковры [15]. Имеется устройство защитного отключения. Защита от прямого прикосновения не требуется, поскольку отсутствуют электроустановки, а электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, и наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока [16].

4.5 Экологическая безопасность

В процессе работы в лаборатории необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, пластика, резины и так далее. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы он обеспечивал доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов. Также необходимо улучшить систему улавливания/фильтрации масляных паров при работе пластинчато-роторных насосов, так как масло и масляные пары непосредственно влияют на окружающую среду в целом. В данный момент стоят фильтры, улавливающие масло и масляные пары, но все же, используемые фильтры не улавливают все вредные вещества. Автоматизированный комплекс для изучения процессов сорбции-десорбции газа в твердых телах не влияет на гидросферу.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При использовании автоматизированного комплекса применяется водород в газообразном виде; при осуществлении этого процесса необходим строгий контроль за давлением и температурой. Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории «А» повышенная взрыво-пожароопасность – так как лаборатория содержит горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, а также вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа [18].

Системы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях должны оставаться активными во всех режимах работы. Аварийная система должна отключать все функции и операции автоматизированного комплекса.

На рисунке 4.1 представлен план эвакуации лаборатории в цокольном этаже 3-го корпуса. Все эксперименты с комплекса для изучения процессов сорбции-десорбции газа в твердых телах производились в комнате Н3.

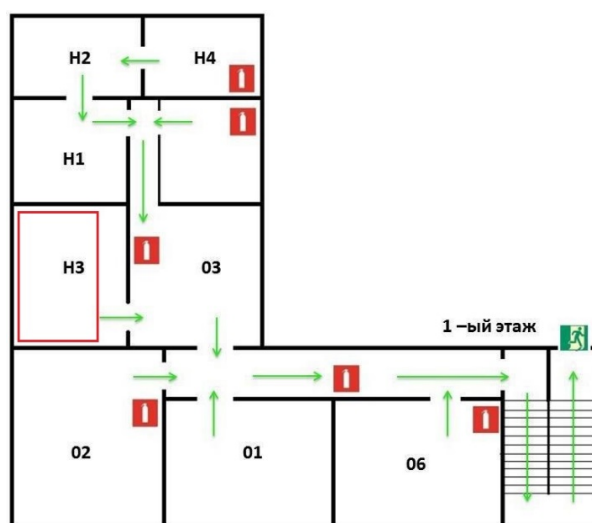


Рисунок 4.1 План эвакуации из рабочего помещения

Выводы по разделу

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при работе с автоматизированного комплекса для изучения процессов сорбции-десорбции водорода в твердых телах в лаборатории, были выявлены и проанализированы опасные и вредные производственные факторы, даны практические рекомендации по технике безопасности. Обеспечение безопасности персонала на рабочем месте является очень важной задачей.

В лабораториях должны обеспечиваться необходимые условия труда для рабочих, минимизироваться вредные и опасные факторы производственной среды. Персонал должен обладать специализированными умениями и навыками для выполнения соответствующих работ на установках.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В ходе научных исследований необходимо производить поиск источников финансирования, которые позволят раскрыть коммерческий потенциал исследования. Для этого исследователь должен определить состояние и перспективы своих научных работ. Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для создания программного обеспечения для контроля и управления газовым реактором.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований, провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта, произвести планирование научно-исследовательских работ, определить бюджет научного проекта и ресурсоэффективность проекта.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Актуальными проблемами современного человечества являются истощение традиционных видов топлива (нефти, угля, природных газ) и загрязнения окружающей среды при их использовании. В связи с этим возрастает интерес к водороду как топливу будущего.

Хранение водорода в гидридах металлов и сплавов отличается от других методов высокой компактностью и безопасностью. Это особо важно для мобильных систем.

Если в настоящее время, в каждом году выпускаются около тысячи водородных автомобилей, то по прогнозу экспертов американской организации IHS Automotive, к 2027 году выпуск водородных автомобилей может достичь 70 тысяч единиц в год.

Потенциальными потребителями программного обеспечения являются широкий круг коммерческих организаций в области энергетики, в частности атомные станции, а также автопроизводители.

В Таблице 5.1 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, направление деятельности. Буквами обозначены компании: «А» - Toyota Motor Corporation, «Б» - Panasonic, «В» - Росатом.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Автоматизация производства	Производство топливных элементов	Автомобильное производство	Портативные накопители
Размер компании	Крупные	А, Б, В	Б	А	Б
	Средние		А		А
	Мелкие		В		

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: производство топливных элементов и автоматизация производств.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, приведенной в Таблице 5.2. Для оценки эффективности научной разработки сравниваются проектируемая система для автоматизированного комплекса, существующая система управления типа SCADA, и разработка программного обеспечения сторонней компанией.

Таблица 5.2 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разрабатываемое ПО	Существующее ПО	Сторонняя разработка	Разрабатываемое ПО	Существующее ПО	Сторонняя разработка
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0.2	5	3	4	1	0.6	0.8
Удобство эксплуатации	0.05	4	3	5	0.2	0.15	0.25
Устойчивость	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Энергоэкономичность	0.04	2	3	2	0.08	0.12	0.08
Надежность	0.2	5	3	4	1	0.6	0.8
Безопасность	0.1	5	3	5	0.5	0.3	0.5
Простота эксплуатации	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность	0.06	4	3	5	0.24	0.18	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.08	4	4	3	0.32	0.32	0.24
Цена	0.03	5	2	4	0.15	0.06	0.12
Предполагаемый срок эксплуатации	0.04	5	2	1	0.2	0.08	0.04
Условия проникновения на рынок	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Итого	1	51	35	43	4.49	3.01	3.83

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что разрабатываемое ПО является наиболее эффективным. Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как высокая стоимость, более низкая производительность и низкий срок эксплуатации.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – это метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Матрица SWOT-анализа представлена в Таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT

		Сильные стороны					Слабые стороны				
		С1. Экономичность и энергоэффективность проекта	С2. Экологичность технологии	С3. Более низкая стоимость	С4. Наличие бюджетного	С5. Квалифицированный персонал	Сл1. Отсутствие прототипа проекта	Сл2. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров	Сл3. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров	Сл4. Отсутствие необходимого оборудования	Сл5. Большой срок поставок используемого оборудования
Возможности	В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	В2. Использование существующего программного обеспечения	+	0	-	0	+	-	-	-	-	-
	В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт	+	+	0	0	-	-	-	-	-	-
	В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований	0	-	+	0	-	-	-	-	-	-
	В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	+	0	+	0	-	-	-	-	-	-
Угрозы	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства	-	-	-	-	-	+	+	0	0	+
	У2. Развитая конкуренция технологий производства	-	-	-	-	-	-	-	+	+	0
	У3. Ограничения на экспорт технологии	-	-	-	-	-	-	+	-	0	-
	У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+

Таким образом, сильные стороны проекта удовлетворяют его возможностям. Простота эксплуатации, сокращение затрачиваемого времени на обработку данных пользователя, а главное достоверность результатов позволяют использовать практически все возможности для развития исследований.

Однако, слабые стороны проекта в сочетании с внешними угрозами ставят под вопрос будущее развитие проекта. Для их минимизации необходимо продолжать работу по расширению функционала программного обеспечения и повышению достоверности оценки результатов измерений.

5.1.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Исследование с использованием морфологического подхода позволяет систематизировать все теоретически возможные решения на основе анализа структуры задачи.

Морфологическая матрица для программного обеспечения представлена в Таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Морфологическая матрица для программного обеспечения

	1	2	3
А. Передача сигнала на микроконтроллер	Цифровой сигнал	Пульт управления	Механический переключатель
Б. Регистрация данных датчиков	Осциллограф	Экран датчика	Цифровой сигнал
В. Запись данных эксперимента	Ручная запись	Печать данных	Сохранение в памяти ПК
Г. Отображение состояния системы	Световая индикация	Отображение на экране ПК	Печать состояния
Д. Расчет процесса	Расчёт на компьютере	Ручные вычисления	Специальное оборудование

При разработке программного обеспечения решение поставленных задач обеспечивает комбинация А1Б2В3Г2Д1.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для реализации проекта необходимы два исполнителя – руководитель (Р), студент (С). Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в Таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Этапы выполнения дипломной работы

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Р
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	С
	3	Изучение существующих объектов проектирования	С
	4	Календарное планирование работ	Р, С
Теоретическое и экспериментальное исследование	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	С
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	С
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Р, С
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Р, С
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	С
	11	Составление перечня вход/выходных сигналов	С

	12	Составление схемы информационных потоков	С
	13	Разработка схемы внешних проводок	С
	14	Разработка алгоритмов сбора данных	С
	15	Разработка алгоритмов автоматического регулирования	С
	16	Разработка структурной схемы автоматического регулирования	С
	17	Проектирование SCADA-системы	С
Оформление отчета	18	Написание раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	С
	19	Написание раздела «социальной ответственности»	С
	20	Проверка работы с руководителем	Р, С
	21	Составление пояснительной записки	С
	22	Подготовка презентации дипломного проекта	С

5.2.2 Разработка графика поведения научного исследования

При планировании проекта рекомендуется построить календарный график, в котором указываются виды работ, их исполнители и протяженность. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ необходимо перевести из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. Количество календарных дней равно 365, выходных 52, а праздничных 14.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{299} = 1.22$$

В Таблице 5.6 приведены расчеты длительности отдельных видов работ.

Таблица 5.6 – Временные показатели проведения работ

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	t min	t max	t ож			
Составление и утверждение технического задания	1	1	1.4	1	1.4	2
Подбор и изучение материалов по теме	2	3	2.4	1	2.4	4
Изучение существующих объектов проектирования	3.5	4.5	3.9	1	3.9	6
Календарное планирование работ	2.5	3	2.7	2	1.35	2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	3.5	4	3.7	1	3.7	5
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	1	3	1.8	1	1.8	3
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2.5	3	2.7	1	2.7	4
Оценка эффективности полученных результатов	2	2.5	2.2	2	1.1	2
Определение целесообразности проведения ОКР	2.5	3	2.7	2	1.35	2
Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	3.5	4	3.7	1	3.7	5
Составление перечня вход/выходных сигналов	1.5	2	1.7	1	1.7	3
Составление схемы информационных потоков	1.5	2	1.7	1	1.7	3
Разработка схемы внешних проводок	2	2.5	2.2	1	2.2	3
Разработка алгоритмов автоматического регулирования	1.5	3	2.1	1	2.1	3
Разработка структурной схемы автоматического регулирования	2	3	2.4	1	2.4	4
Проектирование SCADA-системы	2	3	2.4	1	2.4	4
Итого						54

На основе Таблицы 5.6 построена диаграмма Ганта, представляющая из себя горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 5.7 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность работ												
			Февраль			Март			Апрель			Май			
			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	■												
3	Изучение существующих объектов проектирования	С		■											
4	Календарное планирование работ	Р		■											
		С		■											
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С			■										
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	С			■										
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	С				■									
8	Оценка эффективности полученных результатов	Р					■								
		С					■								
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Р					■								
		С					■								
10	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ	С						■							
11	Составление схемы информационных потоков	С							■						
12	Составление перечня вход/выходных сигналов	С								■					
13	Разработка алгоритмов автоматического регулирования	С									■				
14	Проектирование SCADA-системы	С										■			
15	Составление схемы внешних проводок	С											■		
16	Разработка структурной схемы автоматического регулирования	С												■	



– студент
– руководитель

5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования, $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг и т.д.), C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.), k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимая равным 20%.

Таблица 5.8. – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб	Затраты на материалы
Баллон аргона	шт	1	8000	9600
Электроэнергия	кВт·ч	110	3.66	396
Бумага	шт	50	3	150
Интернет	мес	6	300	1800
Итого, руб				11946

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)

В данной статье расхода включаются затраты на приобретение специализированного спецоборудования для научных работ. В Таблице 5.9 приведен расчет бюджета затрат на приобретение на приобретение специализированного спецоборудования для научных работ:

Таблица 5.9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

Наименование	Количество	Цена за ед. руб	Затраты на материалы
Среда программирования Visual Studio	1	3500	3500
Компьютер офисный (Интант)	1	55000	55000
Программный пакет Origin	1	1500	1500
Итого			60000

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Зарботная плата равна сумме основной ($Z_{\text{осн}}$) и дополнительной ($Z_{\text{доп}}$) заработной платы:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

Основная заработная плата работников определяется с помощью формулой:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата (руб.), $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ (раб. дн.). $Z_{\text{дн}}$ может быть определена с помощью формулы:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{24.83}$$

Учитывается, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе):

Таблица 5.10 – Баланс времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_m = Z_b \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_b – базовой оклад (руб.), $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, k_d – коэффициент доплат и надбавок, k_p – районный коэффициент (для Томска равен 1.3).

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (при расчете принимается равным 0,12). Результаты расчетов основной и дополнительной заработной платы приведены в Таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчет заработной платы

Исполнители	Z_b , руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, дн	$T_{раб}$	$Z_{осн}$, руб	$Z_{доп}$, руб
Руководитель	35000	0.3	0.2	1.3	68250	2750	65	178665	21440
Студент	2500	0.3	0.5	1.3	4875	195	90	17670	2120

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 5.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Величина отчислений во внебюджетные фонды
Руководитель	178665	60032
Студент	17670	5938
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого	196335	65970

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают все затраты, не вошедшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование, оплата электроэнергии, оплата пользования услугами и пр.

Расчет накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \cdot 1/7) \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в Таблице 5.13:

Таблица 5.13. – Расчет бюджета затрат на НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	11946
2. Затраты на специальное оборудование	60000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	196335
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23560
5. Отчисления во внебюджетные фонды	65970
6. Накладные расходы	8390
7. Бюджет затрат НИИ	375500

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегральных показателей: финансового и ресурсоэффективности. В качестве аналогов разрабатываемой системы выступают программные решения от компаний National Instruments (США) и AdAstrA (Россия).

Первый аналог – это программный пакет LabView от National Instruments, второй аналог – Trace Mode от AdAstrA.

Интегральный финансовый показатель вычисляется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки, Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения, Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Результаты вычислений приведены в Таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Расчет интегрального финансового показателя

Вариант исполнения	Φ_{max}	Φ_{pi}	$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$
Разработанная система	490000	375500	0.77
Аналог 1		450000	0.92
Аналог 2		490000	1.00

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется формулой:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки, a_i – весовой коэффициент для i -го варианта исполнения разработки, b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки. Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности отображен в Таблице 5.15.

Таблица 5.15. – Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Критерий	Весовой коэффициент	Разработанная система	Аналог 1	Аналог 2
Способствует росту эффективности труда	0.15	4	4	3
Удобство в эксплуатации	0.25	4	5	5
Энергосбережение	0.15	4	4	4
Надежность	0.2	4	3	3
Помехоустойчивость	0.25	5	4	5
Итого	1	4.25	4.05	4.15

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании двух предыдущих интегральных показателей в соответствии с формулой:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финрi}}$$

Сравнение интегральных показателей эффективности вариантов исполнения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}$$

Результаты расчета показателей сведены в Таблицу 5.16.

Таблица 5.16. – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Исполнение		
	Разработанная система	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель	0.77	0.92	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.25	4.05	4.15
Интегральный показатель эффективности	5.74	4.41	4.15
Сравнительный показатель эффективности	1	0.77	0.72

Анализируя полученные данные финансовой и ресурсной эффективности следует, что наиболее эффективным проектом является система, разработанная студентом и его руководителем.

Заключение

В результате выполнения дипломного проекта был разработан программный модуль для управления и измерения параметров газовой физической установки. В ходе дипломного проекта был изучен технологический процесс исследования сорбционных и десорбционных характеристик газа в твердых телах.

В соответствие с техническими требованиями были разработаны модуль системы безопасности, модуль контроля пневматической системы и модуль обработки экспериментальных данных. Разработанные программные модули позволяют: получать и визуализировать термодинамические параметры газового комплекса; контролировать и отображать состояние пневматической системы; прогнозировать кинетические процессы и записывать измеренные данные в дисковой памяти компьютера.

Разработанное решение соответствует заявленным требованиям и прошло функциональное тестирование и верификацию. Испытания программного модуля подтвердили стабильное выполнение алгоритмов при непрерывной работе. Работа системы безопасности мгновенна при выполнении любого условия. Изменение состояний клапанов через пользовательский интерфейс выполнялось безошибочно. Термодинамические параметры системы отображаются с высокой точностью. Модель кинетических процессов газовой системы сходится с реальными значениями.

Следуя парадигме модульного программирования, удалось создать максимально гибкое для экспериментатора приложение, в котором в дальнейшем можно будет программировать и осуществлять ранее недоступные сценарии определения сорбционных и десорбционных характеристик различных материалов.

Список литературы

1. Carrillo-Bucio, J. L., Tena-Garcia, J. R., Armenta-Garcia, E. P., Hernandez-Silva, O., Cabañas-Moreno, J. G., & Suárez-Alcántara, K. (2018). Low-cost Sieverts-type apparatus for the study of hydriding/dehydriding reactions. *HardwareX*, 4, e00036.
2. Горбунов-Посадов М.М. Расширяемые программы. — М.: Полиптих, 1999. — 336 с.
3. Погонин В.А., Схиртладзе А.Г. Интегрированные системы проектирования и управления. Корпоративные информационные системы: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ТГТУ, 2006. - 144 с.
4. Yang, F., Zhang, Y., Ciucci, F., Wu, Z., Wang, S., Wang, Y., & Zhang, Z. (2018). Towards a consistent understanding of the metal hydride reaction kinetics: Measurement, modeling and data processing. *Journal of Alloys and Compounds*, 741, 610–621.
5. Разработка автоматизированного комплекса для изучения процессов сорбции-десорбции водорода в твердых телах / В. Н. Кудияров, А. М. Лидер, И. Саквин [и др.] // Водород. Технологии. Будущее : сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции, г. Томск, 23-24 декабря 2020 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2021. — [С. 33].
6. Голубинский Андрей Николаевич Методы аппроксимации экспериментальных данных и построения моделей // Вестник ВИ МВД России. 2007. №2.
7. Cheng, H. H., Deng, X. X., Li, S. L., Chen, W., Chen, D. M., & Yang, K. (2007). Design of PC based high pressure hydrogen absorption/desorption apparatus. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(14), 3046–3053.
8. Кудияров, В., & Лидер, А. (2013). Изучение Процессов Сорбции И Десорбции Водорода При Помощи Автоматизированного Комплекса Gas Reaction Controller Lp. *Фундаментальные Исследования*, 15(10), 3466–3471.

9. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
10. ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
11. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
12. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
13. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
14. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
15. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ Средства защиты работающих Общие требования и классификация.
16. ГОСТ 12.1.019-2017 СББТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
17. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ Взрывобезопасность Общие требования
18. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
19. ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места Общие эргономические требования
20. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ опасные и вредные производственные факторы. Классификация

Приложение А

Программный код родительского модуля

(заголовочный файл)

```
class GramQt : public QMainWindow
{
    Q_OBJECT
public:
    GramQt(QWidget *parent = Q_NULLPTR);
    ~GramQt();
    void Initialize();
    void closeEvent(QCloseEvent* event);
private:
    Ui::GramQtClass ui;
    Settings settings;
    ConfigureDialog dialog;
    ConfigureDialogAI dialogAI;
    ConfigureParameter configure;
    ConfigureParameterAI configureAI;
    QGroupBox* setAIgr;
    AIsetUp* sensors[16];
    Data gramSettings;
    Scheme* scheme; // Модуль контроля пневматической системы
    Graph* graph; // Модуль обработки экспериментальных данных
    ProcessorThread processor; // Система безопасности
    Sequencer* sequenser;
    SequencerThread sequenserThread;
    void createIcons();
    void addScheme();
    void addGraph();
    void InitializeData();
    void MakeLog();
signals:
    void OkGRAM(); // сигнал запуска программы
private slots:
    void changePage();
```

```

void InitializeScheme();
void InitializeGraph();
void InitializeVacuum();
void InitializeProcessor();
void InitializeSequencer();
void dataSync();
void flagVtrue(int i);
void flagGtrue(int i);
void About();
void RecLog(){ // запись данных в файл
QFile file("Resources\\log.txt");
if (!file.open(QIODevice::Append | QIODevice::Text))
    return;
QTextStream out(&file);
Transmitter* sensor;
out << QTime::currentTime().toString() << "\t";
int bitValue = 0;
for (int i = 0; i < 8; i++) {
    bitValue = (scheme->getState(0) >> i) & 0x1;
    out << bitValue << "\t";
}
for (int i = 0; i < 8; i++) {
    bitValue = (scheme->getState(1) >> i) & 0x1;
    out << bitValue << "\t";
}
out << QString::number(graph->DV_301.GetPdata(), 'g', 4) <<
"\t";
for (int i = 0; i < configureAI.channelCount; i++) {
    sensor = graph->getSensor(i);
    if (i == DK314T || i == DT314) out << QString::number(sensor-
>GetPdata(), 'g', 3) << "\t";
    else out << QString::number(sensor->GetPdata(), 'g', 4) <<
"\t";
}
out << "\n";
}

```

Приложение Б

Программный код системы безопасности

(заголовочный файл)

```
class ProcessorThread : public QThread
{
    Q_OBJECT

public:
    ProcessorThread(QObject* parent = Q_NULLPTR);
    ~ProcessorThread();

    bool conditionV(){ // условие В
Transmitter* sensor;
        bool flagV = true;
        countV = 0;
        if (((int)(m_sensors->time.elapsed() / 1000) - 1) % 8 == 0) {
            double slope = 0;
            sensor = m_sensors->getSensor(DK314T);
            if (sensor->now8sec > 15) {
                slope = (sensor->point8sec[sensor->now8sec - 1] -
sensor->point8sec[sensor->now8sec - 13]) / (sensor->time8sec[sensor-
>now8sec - 1] - sensor->time8sec[sensor->now8sec - 13]) * 1000;
                if (slope <= V_TRate) flagV = true;
                else {
                    countV++;
                }
            }
            sensor = m_sensors->getSensor(DT314);
            if (sensor->now8sec > 15) {
                slope = (sensor->point8sec[sensor->now8sec - 1] -
sensor->point8sec[sensor->now8sec - 13]) / (sensor->time8sec[sensor-
>now8sec - 1] - sensor->time8sec[sensor->now8sec - 13]) * 1000;
                if (slope <= V_TRate) flagV = true;
                else {
                    countV++;
                }
            }
            sensor = m_sensors->getSensor(DV301);
            if (sensor->now8sec > 15) {
```

```

        slope = (sensor->point8sec[sensor->now8sec - 13] -
sensor->point8sec[sensor->now8sec - 1]);
        if (slope >= V_Pinc) flagV = true;
        else {
            countV++;
        }
    }
    if (countV > 0) flagV = false;
}
return flagV;
}

bool conditionG(){ // условие Г
Transmitter* sensor;
bool flagG = true;
countG = 0;
if (((int)(m_sensors->time.elapsed() / 1000) - 1) % 8 == 0) {
    for (int i = 0; i < num_Tr; i++) {
        double slope = 0;
        sensor = m_sensors->getSensor(i);
        if (sensor->now8sec > 15) {
            slope = (sensor->point8sec[sensor->now8sec -
1] - sensor->point8sec[sensor->now8sec - 13]) / (sensor->time8sec[sensor-
>now8sec - 1] - sensor->time8sec[sensor->now8sec - 13]) * 1000;
            if (slope <= G_Rate) flagG = true;
            else {
                countG++;
            }
        }
    }
}
if (countG > 0) flagG = false;
return flagG;
}

bool conditionD(){ // условие Д
if (m_sensors->DD_311.GetPdata() < D_Val) return true;
else return false;
}

bool conditionDD171(){ // условие ДД
if (m_sensors->DD_311.GetPdata() < DD_Val) return true;

```

```

else return false;
}
    bool conditionDD173(){ // условие ДД
if (m_sensors->DD_331.GetPdata() < DD_Val) return true;
    else return false;
}
    void getScheme(Scheme* scheme); // получение указателя на модуль
пневматической системы
    void getSensors(Graph* sensors); // получение указателя на
модуль обработки экспериментальных данных
    bool testB = false;
signals:
    void setValves(int i, bool b);
    void flagVtrue(int i);
    void flagGtrue(int i);
private:
    void run() override;
    Scheme* m_scheme;
    Graph* m_sensors;
    int m_waitTimeout = 0;
    bool K104 = false;
    bool K109 = false;
    bool K114 = false;
    bool K118 = false;
    bool K178 = false;
    bool K192 = false;
    bool K176 = false;
    bool K179 = false;
    bool K171 = false;
    bool K131 = false;
    bool K133 = false;
    bool K135 = false;
    bool K153 = false;
    bool K155 = false;
    bool K151 = false;
    bool K173 = false;
};

```

Приложение В

Программный код модуля пневматической системы

(заголовочный файл)

```
class Scheme : public QDialog
{
    Q_OBJECT
public:
    Scheme(QWidget* parent = 0, Qt::WindowFlags flags = 0);
    ~Scheme();
    void InitializePortPanel();
    void ConfigureDevice();
    void CheckError(ErrorCode errorCode);
    void Initialize();
    quint8 getState(int a);
    void ButtonClicked(int id, bool s){ // переключение состояния
клапана
    int a = 0;
    if (id > 7) a = 1;
    if ((state[a] >> (id - a * 8) & 0x1) != s) {
        if ((mask[a] >> (id - a * 8) & 0x1) == 1) {
            if ((state[a] >> (id - a * 8) & 0x1) == 1) {
                state[a] = (quint8)(state[a] & ~(0x1 << (id -
a * 8)));
            }
            else {
                state[a] = (quint8)(state[a] | (0x1 << (id - a
* 8)));
            }
        }
        quint8 status = state[a];
        ErrorCode errorCode = Success;
        errorCode = instantDoCtrl->Write(a, 1, &status);
        CheckError(errorCode);
    }
}
```



```

        bool sendValves(int i);
        void takeValves(int i, bool s);
        bool sendState(int i);
        void changeFlagV(bool state){ // выполнение условия В
ui.FlagV->setChecked(state);
    }
        void changeFlagG(bool state) ){ // выполнение условия Г
ui.FlagG->setChecked(state);
    }
        void changeFlagD(bool state) ){ // выполнение условия Д
ui.FlagD->setChecked(state);
    }
        void changeFlagDD(bool state) ){ // выполнение условия ДД
ui.FlagDD->setChecked(state);
    }
        bool getFlagDD();
        void changeFlagDD2(bool state) ){ // выполнение условия ДД
ui.FlagV->setChecked(state);
    }
        bool getFlagDD2();
        void addSensor(QWidget* sensor, int i);
        void getSettings(Settings set) { UIstate = set; }
        bool closeApp();
private:
    Ui::Scheme ui;
    ConfigureParameter configure;
    InstantDoCtrl* instantDoCtrl;
    int portCount;
    int portPanelLength;
    Settings UIstate;
    QTimer* timerClock;
    quint8 mask[2];
    quint8 state[2];
    int key[2];
signals:
    void saveLog();
    void recLog();
    void eventAllButtonsClosed(QString a);
};

```

Приложение Г

Программный код модуля обработки данных

(заголовочный файл)

```
class Graph : public QDialog
{
    Q_OBJECT
public:
    Graph(QWidget* parent = 0, Qt::WindowFlags flags = 0);
    ~Graph();
    void Initialize();
    void CheckError(ErrorCode errorCode);
    void SetConfigureParameter(ConfigureParameterAI value) { this->configure = value; }
    void seriesChart();
    void getScheme(Scheme* scheme);
    double GetAIdata(int i) { return scaledData[i]; }
    Transmitter* getSensor(int i);
    Psensor DD_311; // датчик давления ДД311
    Psensor DD_312; // датчик давления ДД312
    Psensor DD_331; // датчик давления ДД331
    Psensor DD_332; // датчик давления ДД332
    Psensor DD_334; // датчик давления ДД334
    Psensor DK_314; // датчик давления ДД314
    Tsensor DK_314T; // датчик температуры ДД314Т
    Tsensor DT_314; // датчик температуры ДД314Т
    Vacsensor DV_301; // вакуумметр SingleGauge TPG 361
    Volsensor RK_300; // виртуальный датчик давления
    Volsensor RK_50; // виртуальный датчик давления
    Volsensor RK_10; // виртуальный датчик давления
    Volsensor virA_0; // виртуальный датчик давления
    Volsensor virA_1; // виртуальный датчик давления
    Volsensor vir_B; // виртуальный датчик давления
    Volsensor vir_E; // виртуальный датчик давления
    QElapsedTimer time;
private:
```

```

    Ui::Graph ui;
    ConfigureParameterAI configure;
    InstantAiCtrl* instantAiCtrl;
    Scheme* m_scheme;
    double scaledData[16];
    QTimer* timerADC;
    QTimer* timerData;
    QTimer* timerChart;
    QTimer* timerVol;
    QChart* vac_chart;
    QMainWindow* mw;
    QLineSeries* series[num_Tr + vol_Tr + vir_Tr];
    QCheckBox* checkBox[num_Tr + vol_Tr + vir_Tr];
    QButtonGroup* CheckGroup;
    QGroupBox* group;
    int timeRange = 0;
    int time_period = 0;
    int timerTick = 0;
    int timeScale = 1000;
    static QColor          lineColor[16];
signals:
    void drawChart(int i);
public slots:
    void SlowFltr(bool a);
private slots:
    void TimerADC(){ // поток чтения данных микроконтроллера
        ErrorCode errorCode = Success;
        errorCode          =    instantAiCtrl->Read(configure.channelStart,
configure.channelCount, scaledData);
        CheckError(errorCode);
        if (errorCode != Success)    return;
        for (int i = 0; i < configure.channelCount; i++) {
            switch (i) {
                case DD311: DD_311.doWork(scaledData[i]); break;
                case DD312: DD_312.doWork(scaledData[i]); break;
                case DD331: DD_331.doWork(scaledData[i]); break;
                case DD332: DD_332.doWork(scaledData[i]); break;
                case DD334: DD_334.doWork(scaledData[i]); break;
                case DK314: DK_314.doWork(scaledData[i]); break;
            }
        }
    }

```

```

        case DK314T:DK_314T.doWork(scaledData[i]); break;
        case DT314: DT_314.doWork(scaledData[i]); break;
    }
}

double Psensor::FltrPrdata(double data) { // фильтрация данных
    double filtered;
    if (!slowFltr) filtered_before = filtered = adc_filter * data
+ (1 - adc_filter) * filtered_before;
    else filtered_before = filtered = filter_slow * data + (1 -
filter_slow) * filtered_before;
    return    filtered;
}

void Psensor::doWork(double current) { // масштабирование  данных
    Pdata = FltrPrdata(A * (current / R * 1000) - B);
    if (Pdata < low_pt) low_pt_On = true;
    else low_pt_On = false;
    switch (ui.dimensionBox->currentIndex()) {
    case 0: Pdata_scaled = Pdata; low_pt_scaled = low_pt; break;
    case 1: Pdata_scaled = Pdata * 750; low_pt_scaled = low_pt *
750; break;
    case 2: Pdata_scaled = Pdata * 100000; low_pt_scaled = low_pt
* 100000; break;
    default: break;
    }
    if(addToList) datalsec << Pdata;
}

double Transmitter::avrData(QList<double> data){ // усреднение
данных
    double avr_data = 0;
    for (int i = 0; i < data.count(); i++)
    {
        avr_data += data[i];
    }
    return avr_data / data.count();
}

```